



REPUBLIQUE DU BENIN

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

ECOLE POLYTECHNIQUE D'ABOMEY-CALAVI

DEPARTEMENT DE GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

OPTION : AMENAGEMENT ET PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

RAPPORT DE STAGE DE FIN DE FORMATION

POUR L'OBTENTION DU

DIPLOME DE LICENCE PROFESSIONNELLE

THEME :

**TENDANCE ACTUELLE DES TEMPERATURES ET
DES PRECIPITATIONS DANS LE DEPARTEMENT
DE LA DONGA AU BENIN**

Réalisé et soutenu par :

Yabo Ursul Josiane AVOUNGNLANKOUN

Sous la supervision de :

Tuteur de stage :

Monsieur BESSOU Joseph

Ingénieur Agrométéorologue

METEO BENIN

Superviseur :

Docteur HOUNZINME Sylvie

Grade au CAMES

Enseignant-Chercheur à l'EPAC

Année Académique : 2020-2021

14^{ème} Promotion

REPUBLIQUE DU BENIN

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE (MESRS)

UNIVERSITE D'ABOMEY CALAVI (UAC)

ECOLE POLYTECHNIQUE D'ABOMEY CALAVI (EPAC)

DIRECTEUR

Professeur Titulaire ALITONOU Guy Alain

DIRECTEUR AJOINT

(Chargé des affaires académiques)

Docteur FIFATIN François-Xavier

(Maître de Conférences des Universités du CAMES)

CHEF DE DEPARTEMENT

Docteur. ADJAHOSSOU Baï Sèdami

(Maître de Conférences des Universités du CAMES)

Année Académique : 2020-2021

14^{ème} Promotion

Certification

Je certifie que ce travail a été réalisé par Mademoiselle Josiane U. Y AVOUNGNLANKOUN, dans le cadre de l'obtention du diplôme de licence professionnelle en Génie de l'Environnement (GEn) option Aménagement et Protection de l'Environnement (APE) à l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC) à l'issue de son stage de fin de formation en licence professionnelle.

Le superviseur

Dr Sylvie HOUNZINME

Maître-Assistant des Universités du CAMES

Enseignant-Chercheur à l'EPAC/UAC

**LISTE DES ENSEIGNANTS AYANT INTERVENU DANS NOTRE FORMATION DE
2019- 2021**

| NOM | PRENOMS | MATIERES ENSEIGNEES |
|----------------------|-------------------|--|
| ADJAHOSSOU | Baï Sêdami | Physiologie végétale, Ecologie générale, Métabolismes primaire et secondaire |
| ADJAKPA | Jacques Boco | Systematique, Géographie animale, Eco-éthologie, Ornithologie, Méthodologie de recherche |
| ADJOU | Euloge | Biochimie Structurale |
| AGBANGBA | Codjo Emile | Biostatistique, Biostatistique avancée |
| AGBANI | Onodjè Pierre | Ethnobotanique |
| AHOUANNOU | Clément | Gestion de l'Energie |
| AKODOGBO | Hervé | Limnologie, Océanographie et Ichtyologie |
| AKPO | Armand | Entomologie générale |
| ALITONOU | Guy Alain | Chimie Générale, Chimie Organique |
| ALLANDIFIN | Donatien T. | Législation forestière et faunique, Législation du travail |
| ANAGONOU | | Education Physique et Sportive |
| AZOCLI | David | Pédologie générale |
| BACHAROU | Taofic | Aménagement des plans d'eau |
| CHABI | Nicodème Worou | Techniques Instrumentales |
| CHIDIKOFAN | Grâce | Economie de l'Environnement, Analyse du cadre de vie |
| CHOUGOUROU | Daniel C. | Zoologie, Chordés, Protection des végétaux |
| DAHODO | Médard | Introduction à la Modélisation en Ecologie |
| EGBOHO | M. Franck | Initiation à l'Analyse Numérique |
| EHINNOU KOUTCHIKA | Romarc | Initiation à l'Etude d'impact environnemental |
| GBAGUIDI | A. N. Magloire | Ecotoxicologie |
| GBEDO | Victor | Gestion et traitement des déchets |
| HODOMIHOU | Richard | Assainissement du Cadre de Vie |

| | | |
|-------------------------------|-----------------|--|
| HOUEMENOU | Gualbert | Techniques Instrumentales, Physiologie Animale, Génétiques des populations et Zoonoses |
| HOUENON | Janvier | Botanique, Taxonomie végétale |
| HOUINOU | Gossou Jean | Topométrie |
| HOUNGA | Clément | Mathématiques |
| HOUNZINME KPANGON | Sylvie | Météorologie et Agroclimatologie |
| KIKI | Martial | Gestion de la Faune |
| KOFFI | Aristide | Anglais Technique II |
| KOUDJE | Basile | Dessin d'aménagement |
| KOUHIKO | | Anglais Technique I |
| KPOSSILANDE | | Techniques d'Expression et Méthodes de Communication (TEMC II) |
| LALEYE | Claude | Assurance qualité |
| MONOTE | Edmond | Informatique et Application |
| OUMOROU | Madjidou | Introduction à la Phytosociologie et Phyto-Ecologie tropicale |
| SANTOS | Carline | Entomologie agricole et forestière |
| SEWANOUE | Damien | Gestion des entreprises |
| TCHABI | Vincent Isidore | Conservation et gestion des ressources naturelles |
| TOSSOU | Rachelle | Chinois |
| VODOUNON | Edmond | Physique |
| VODOUNOU | Jean Bosco | Télédétection et Système d'Information Géographique (SIG) |
| YEHOUENOU AZEHOON PAZOU | Elisabeth | Biologie Cellulaire, Microbiologie Générale et Microbiologie des aliments et de l'eau |
| YOUSSAO ABDOU KARIM | Alassane | Chimie de l'Environnement |
| ZEVOUNOU | Crépin | Géologie générale, Hydrogéologie |
| ZOUNTANGNI | Laurent | Techniques d'Expression et Méthodes de Communication (TEMC I) |

Dédicace

Je dédie ce travail à :

- ♥ mon Père Dagbégnon Simon AVOUNGNLANKOUN qui a toujours cru en moi ;
- ♥ ma Mère Clémence HOUNDOU qui m'a toujours soutenu en toutes circonstances ;

Remerciements

Qu'il me soit permis au terme de ce travail d'adresser nos remerciements à tous ceux qui d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réussite de ce stage. Il s'agit de :

- Dr. Sylvie HOUNZINME, Enseignant-Chercheur mon superviseur pour sa contribution scientifique dans la réalisation de mes travaux ;
- Mr Joseph BESSOU, Collaborateur du Chef Cellule des Études stratégiques, mon maître de stage pour son suivi et intervention tout au long de la réalisation de mes travaux de recherches ;
- Mr Mandela Coovi Mahuwètin HOUNGNIBO, le Chef Cellule des Études stratégiques, pour ses orientations et son assistance dans l'étude du thème ;
- Tous les enseignants de l'EPAC en particulier ceux du département du Génie de l'Environnement pour leur effort en vue de nous transmettre le savoir ;
- Tous les agents de METEO BENIN pour leurs implications dans ce stage ;
- Mes frères et sœurs : William, Robelec, Mariana, Murielle et Primaël pour leur soutien sans faille ;
- Tous mes camarades de la 13^{eme} et 14^{eme} promotion de la licence professionnelle pour les bons moments passés ensemble ;
- Messieurs les Membres de Jury, pour l'honneur que vous nous faites de juger la qualité de ce document.

Liste des sigles et abréviations

| | |
|-----------------------|--|
| ASECNA | Agence Africaine pour la Sécurité de la Navigation Aérienne. |
| CES | Cellule des Études Stratégiques. |
| CO₂ | Dioxyde de Carbone. |
| CPU | Collège Polytechnique Universitaire. |
| DNM | Direction Nationale de Météorologie. |
| EPAC | École Polytechnique d'Abomey-Calavi. |
| ERA5 | ECMWF Reanalysis V5. |
| ETP | Évapotranspiration potentielle. |
| GES | Gaz à Effet de Serre. |
| GIEC | Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat. |
| INSAE | Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique. |
| MÉTÉO BENIN | Agence Nationale de la Météorologie du Bénin. |
| RGPH4 | Recensement Général de la Population et de l'Habitation. |
| TAMSAT | Tropical Applications of Meteorology using SATellite data and ground-based observations. |
| UAC | Université d'Abomey-Calavi. |

Résumé

Ce document fait la synthèse des activités réalisées au cours de nos huit (08) semaines de stage. L'objectif du stage est de nous familiariser avec un lieu de travail, de prendre connaissance des méthodes de travail dans chaque entité visitée et de mettre en pratique les connaissances théoriques acquises au cours de notre formation. Ainsi, nous avons participé à l'élaboration des bulletins climatiques mensuels, des bulletins décennaires agrométéorologiques et à la saisie des données climatiques dans les services d'accueil à METEO BENIN. Nous avons aussi appris des outils tels que SURFER, QGIS, R et \LaTeX . Ces outils nous ont permis de développer le thème qui nous a été attribué dont l'objectif est d'étudier les tendances climatiques actuelles dans le département de la Donga au Bénin pour la prise de décision. Au terme des analyses, il ressort que, les températures moyennes sont significativement à la hausse (0.1 à 0.3°C/10 ans) sur la majeure partie du département de la Donga. Les précipitations sont à la baisse au sud du département et à la hausse au nord.

Mots clés : Tendances climatiques, températures, précipitations, Donga, Bénin.

Abstract

This document summarizes the activities carried out during our eight (08) weeks of internship. The objective of the internship is to familiarize ourselves with a workplace, to learn about the working methods in each entity visited and to put into practice the theoretical knowledge acquired during our training. Thus, we participated in the development of monthly climate bulletins, ten-day agrometeorological bulletins and the save of climate data. We also learned about tools like SURFER, QGIS, R and \LaTeX . These tools have enabled us to develop the theme that has been assigned to us, the objective of which is to study current climate trends in the Donga department, in Benin, for decision-making. At the end of the analyzes, it emerges that the average temperatures are significantly on the rise (0.1 to 0.3°C/10 years) over most of the Donga department. Precipitation is decreasing in the south of the department and increasing in the north.

Key words : Climate trends, Temperature, Precipitation, Donga, Benin.

Liste des figures

| | | |
|------------------|--|----|
| Figure 1 | Position du FIT au cours du mois de septembre 2021 | 5 |
| Figure 2 | Rapport à la normale des précipitations du mois de septembre 2021 . . . | 6 |
| Figure 3 | Interface de saisie de la base de données | 7 |
| Figure 4 | Carte du réseau météorologique | 9 |
| Figure 5 | Carte du bilan hydrique de la troisième décade d'août 2021 | 10 |
| Figure 6 | Carte topographique de la zone d'étude. | 16 |
| Figure 7 | Variabilité des températures moyennes dans le département de la Donga. Période :1984-2019. La courbe bleue est une courbe de tendance polynomi- ale qui à l'instar des moyennes mobiles permet de scinder les périodes homogènes en termes de variabilité. | 18 |
| Figure 8 | Variabilité des précipitations annuelles dans le département de la Donga. Période :1984-2019. La courbe bleue est une courbe de tendance polynomi- ale qui à l'instar des moyennes mobiles permet de scinder les périodes homogènes en termes de variabilité. | 19 |
| Figure 9 | Tendances des températures moyennes dans le département de la Donga. Période :1984-2019. Ligne bleue : Droite de regression. Segment vert : moyenne avant rupture. Segment rouge : moyenne après rupture. | 20 |
| Figure 10 | Tendances des précipitations annuelles dans le département de la Donga. Période :1984-2019. Ligne bleue : Droite de regression. | 20 |
| Figure 11 | Moyenne des températures et des hauteurs de pluie annuelle sur la période 1984-2019 dans le département de la Donga. | 21 |
| Figure 12 | Tendances des températures moyennes et des précipitations annuelles dans le département de la Donga (Période 1984-2019). Les points (●) indiquent les zones de tendances significatives. | 22 |
| Figure 13 | Variabilité des précipitations moyennes annuelles dans le département de la Donga. Période :1984-2019 | 23 |

Liste des tableaux

| | | |
|------------------|--|----|
| Tableau 1 | Résultat des tests de Pettitt et de Mann-Kendall pour les séries annuelles de pluie et de température. Période : 1984-2019 | 19 |
|------------------|--|----|

Sommaire

| | |
|---|------|
| Liste des enseignants ayant intervenu en Génie de l'environnement au cours de ma formation de 2018 à 2021 | i |
| Dédicace | ii |
| Remerciements | iii |
| Liste des sigles et Abréviations | iv |
| Résumé | v |
| Abstract | vi |
| Liste des figures | vii |
| Liste des tableaux | viii |
| INTRODUCTION | 1 |
| PREMIÈRE PARTIE : PRÉSENTATION DU CADRE DE STAGE | 2 |
| DEUXIÈME PARTIE : DÉROULEMENT DU STAGE | 4 |
| TROISIÈME PARTIE : ÉTUDE DU THÈME | 12 |
| DIFFICULTES RENCONTREES | 24 |
| CONCLUSION | 24 |
| SUGGESTIONS | 25 |
| Bibliographie | 26 |
| Table des matières | 28 |
| Annexes | I |

INTRODUCTION

Dans le cadre de notre formation en Génie de l'environnement pour l'obtention d'une licence professionnelle, l'École Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC) a initié des stages pratiques en vue non seulement de concilier les connaissances théoriques acquises à la pratique, mais aussi de nous familiariser aux environnements de travail.

C'est dans cette optique, que nous avons effectué un stage de deux mois au sein de l'Agence Nationale de la Météorologie du Bénin (MÉTÉO BENIN). Ce stage s'est déroulé du 10 Juillet au 10 Septembre 2021 au sein de cette structure.

Ce document fait non seulement une présentation non moins exhaustive de tous les aspects techniques que nous avons pu apprendre ou approfondir au cours de ce stage mais aussi développe un thème. Ce thème nous a été assigné par le chef cellule des études stratégiques de MÉTÉO BENIN et s'intitule « **Tendances actuelles des températures et des précipitations dans le département de la DONGA au Bénin** ». Le document est structuré en trois (03) parties :

- ✍ la première partie pour la présentation du cadre de stage ;
- ✍ la deuxième partie pour le déroulement du stage ;
- ✍ la dernière partie pour la présentation des principaux résultats du thème étudié.

PREMIÈRE PARTIE : PRÉSENTATION DU CADRE DE STAGE

1.2 CADRE INSTITUTIONNEL

L'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC) est créée le 16 décembre 2002 par décret. Elle est issue de la transformation de l'ex-Collège Polytechnique Universitaire (ex-CPU), fruit de la coopération bénin-canadienne qui avait ouvert ses portes à ses premiers étudiants en février 1977. L'EPAC (ex-CPU) est un établissement d'enseignement technique et professionnel de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC). En sa qualité de Grande École, l'EPAC a pour mission d'assurer :

- Des formations conduisant au Diplôme de Licence Professionnelle, d'Ingénieur de Conception et au Master dans les secteurs Biologique et Industriel ;
- Des formations conduisant aux Diplômes de Doctorat dans divers domaines ;
- La publication de documents scientifiques et techniques issus des travaux de recherche et des activités pédagogiques ;
- Le perfectionnement et la formation continue des personnels des entreprises publiques et privées ;
- L'organisation des journées scientifiques, séminaires, colloques, congrès, ateliers, nationaux et internationaux ;
- Les partenariats d'échange et de mobilité des apprenants et des enseignants avec plusieurs universités à travers le monde.

L'EPAC offre des formations initiales et des formations continues organisées en trois cycles et réparties entre deux principaux secteurs d'études : le secteur Biologique et le secteur Industriel. L'EPAC dispose de plusieurs laboratoires pour les recherches et aussi des unités d'applications qui offrent des prestations de service au public et constituent des plateaux techniques de renforcement des aptitudes pratiques des étudiants.

Pour assurer efficacement la mission qui est la sienne, l'EPAC entretient des relations de coopération avec des Institutions de Recherche et Développement, des Écoles, des Instituts et Universités, des Entreprises publiques et privées, sur les plans, national, sous régional et international.

1.3 CADRE DE STAGE

1.3.1 HISTORIQUE, MISSIONS ET ORGANISATION DE METEO BENIN

Quatre (04) périodes distinguent l'évolution du service météorologique national :

- de la période coloniale à la création de l'Agence Africaine pour la Sécurité de la Navigation Aérienne (ASECNA) en décembre 1959 où le service météorologique du Bénin jadis, répondait essentiellement aux besoins de l'aéronautique ;
- de l'indépendance en 1960 jusqu'à la création de la Direction Nationale de Météorologie (DNM) en 2004 où un accent particulier avait été mis sur la fourniture des services agrométéorologiques et climatiques et ce juste après les sécheresses des années 1970 ;
- de 2004 jusqu'à la création de METEO BENIN en 2015 où la Direction Nationale de la Meteorologie avait été créé par decret sans rester opérationnelle jusqu'à la nomination du premier directeur en 2010 ;
- de 2015 à nos jours, l'ex-Direction Nationale de la Météorologie a été remplacée par un établissement public à caractère administratif et scientifique dénommé AGENCE NATIONALE DE LA METEOROLOGIE (METEO BENIN).

L'Agence Nationale de la Météorologie du Bénin a pour mission l'observation, l'analyse, l'étude et la prévision du temps, du climat et des constituants atmosphériques de l'environnement en vue d'assurer la sécurité des personnes et des biens dans le domaine de la météorologie et de la climatologie par la fourniture des informations et des services appropriés à tous les secteurs socio-économiques et environnementaux, à tous les usagers et de contribuer à la formulation de la politique de l'État dans ces domaines.

Cette structure permet un gain de productivité dans les différents secteurs économiques, souvent sensibles aux événements extrêmes météorologiques, climatiques et hydrologiques. METEO BENIN se veut être lanceuse d'alertes précoces à des phénomènes météorologiques à fort impact et contribuer chaque jour à développer des stratégies favorables afin de veiller à la sécurité alimentaire du pays, augmenter la résilience des collectivités, aider à la gestion des ressources, permettre à la société de s'adapter à la variabilité et à l'évolution du climat, puis contribuer à l'amélioration de la qualité de l'environnement.

L'agence Nationale de la Météorologie comprend un secrétariat de direction et cinq (05) Directions à savoir : la Direction de la prévision et de l'équipement météorologique, la Direction de la climatologie et de l'agrométéorologie, la Direction des infrastructures et des équipements, la Direction des affaires financières, la Direction des systèmes informatiques et d'autres postes techniques rattachés directement à la Direction Générale tels que la Cellule des études stratégiques.

DEUXIÈME PARTIE : DÉROULEMENT DU STAGE

2.1 OBJECTIFS DU STAGE

Les objectifs principaux assignés à l'étudiant sont :

- prendre connaissance des attributions de chaque service technique ;
- participer à la réalisation des activités régaliennes au niveau des services ;
- s'approprier les principaux outils et logiciels utilisés dans les services techniques (Exemple : Clidata, Instat, QGIS, SURFER, R, ...);
- apprendre l'éditeur **L^AT_EX** en vue de la rédaction et de la présentation du rapport de stage.

2.2 DEROULEMENT DU STAGE

2.2.1 Activités réalisées au service Climatologie, Changements climatiques et suivi des conventions

Nous avons pris connaissance des différentes attributions du service qui sont entre autres :

- suivre la collecte des données d'observations météorologiques ;
- élaborer les bulletins climatologiques mensuels et les rapports sur la situation pluviométrique du Bénin ;
- suivre l'évolution du climat et en actualiser ;
- identifier les risques potentiels des phénomènes liés au changement climatique ;
- suivre les activités relatives à la gestion des crises et catastrophes au Bénin.

La suite des activités au niveau du service a été consacrée à la recherche de réponse à une fiche de questionnaire (Annexe [A](#)) qui nous a été remis par le chef service, à l'élaboration du bulletin climatologique mensuel et à la saisie des observations météorologiques dans la base de données climatiques CLIDATA.

Le bulletin climatologique mensuel est diffusé chaque 10 du mois pour relater l'évolution des principaux variables climatiques du mois précédent. Il se compose de trois parties. La première partie porte sur la situation synoptique qui a prévalu au cours du mois précédent. Ainsi, il est fait cas de l'évolution des principaux centres d'action : les anticyclones et les dépressions. Il est aussi présenté l'évolution du front intertropical (la figure [1](#) présente la position du front intertropical au cours du mois de septembre 2021) et la situation des grands bassins océaniques. La deuxième partie expose la situation climatologique qui a prévalu au cours du mois précédent et les impacts associés. Il est présenté ici la carte du rapport à la normale des précipitations du mois de septembre que nous avons eu le privilège de réaliser avec le logiciel surfer (figure [2](#)). La dernière partie donne les grandes tendances sur

les précipitations et les autres variables climatiques sur les 3 mois à venir avec leurs impacts potentiels

Les observations provenant des stations d'observations météorologiques classiques sont stockées dans la base de données climatiques après contrôle de vraisemblance des différentes fiches d'observations. Nous avons participé à la saisie des données de pluie horaire, d'humidité relative maximale et minimale, de températures, d'évaporation... sur la période allant de juillet 2021 à septembre 2021. Nous présentons ici, une photo de l'interface de saisie de Clidata (Figure 3)

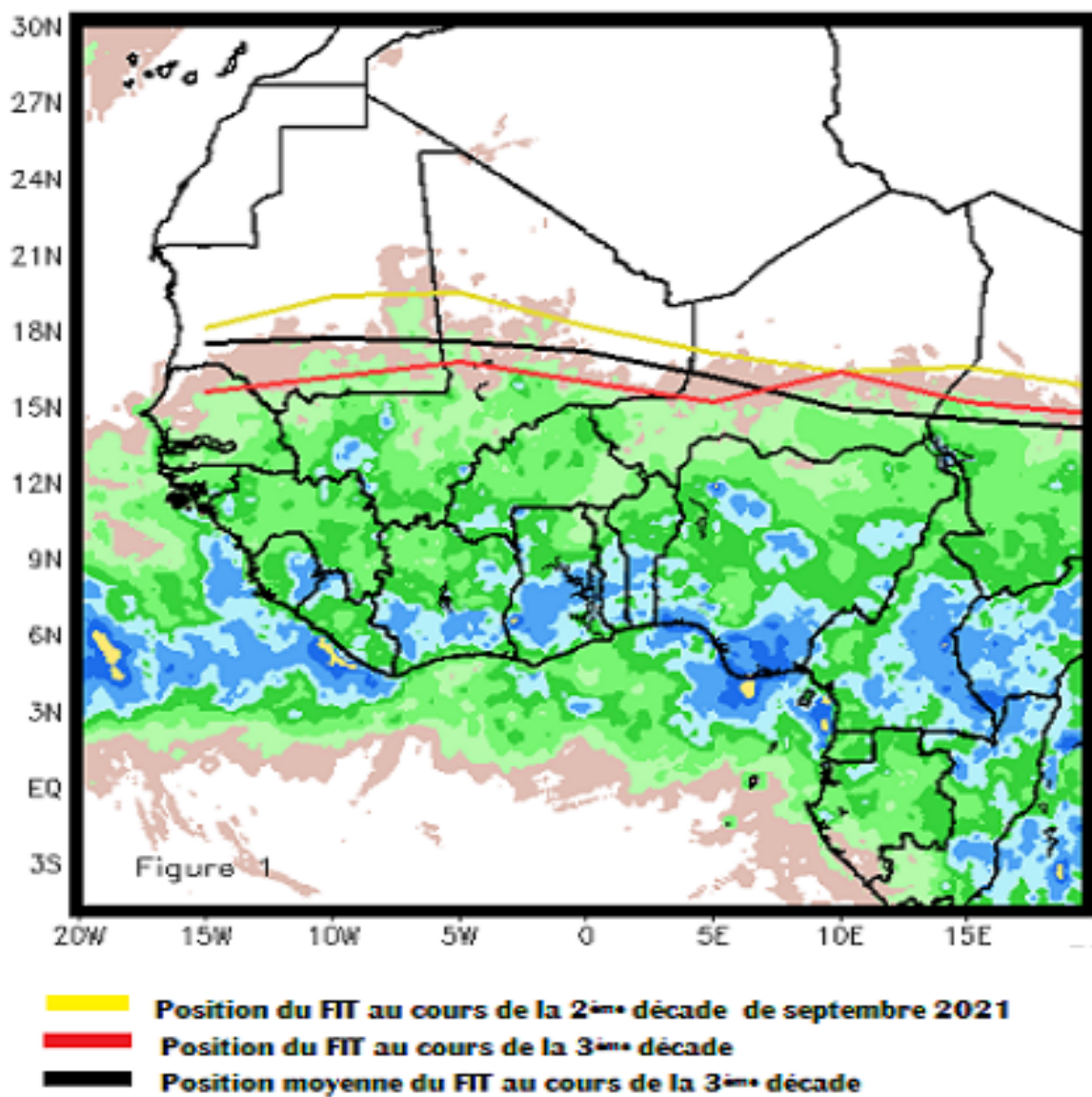


FIGURE 1 – Position du FIT au cours du mois de septembre 2021

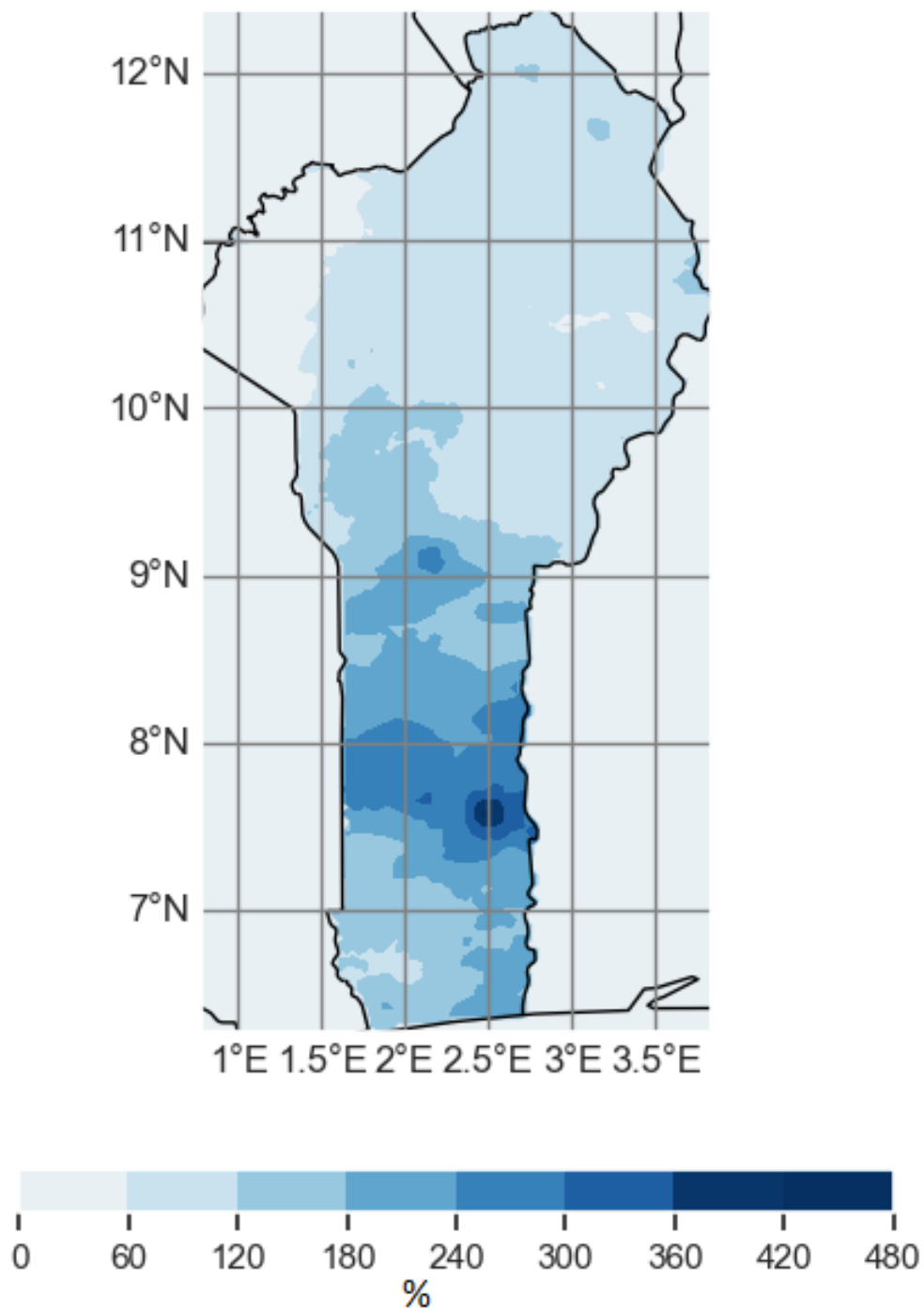


FIGURE 2 – Rapport à la normale des précipitations du mois de septembre 2021

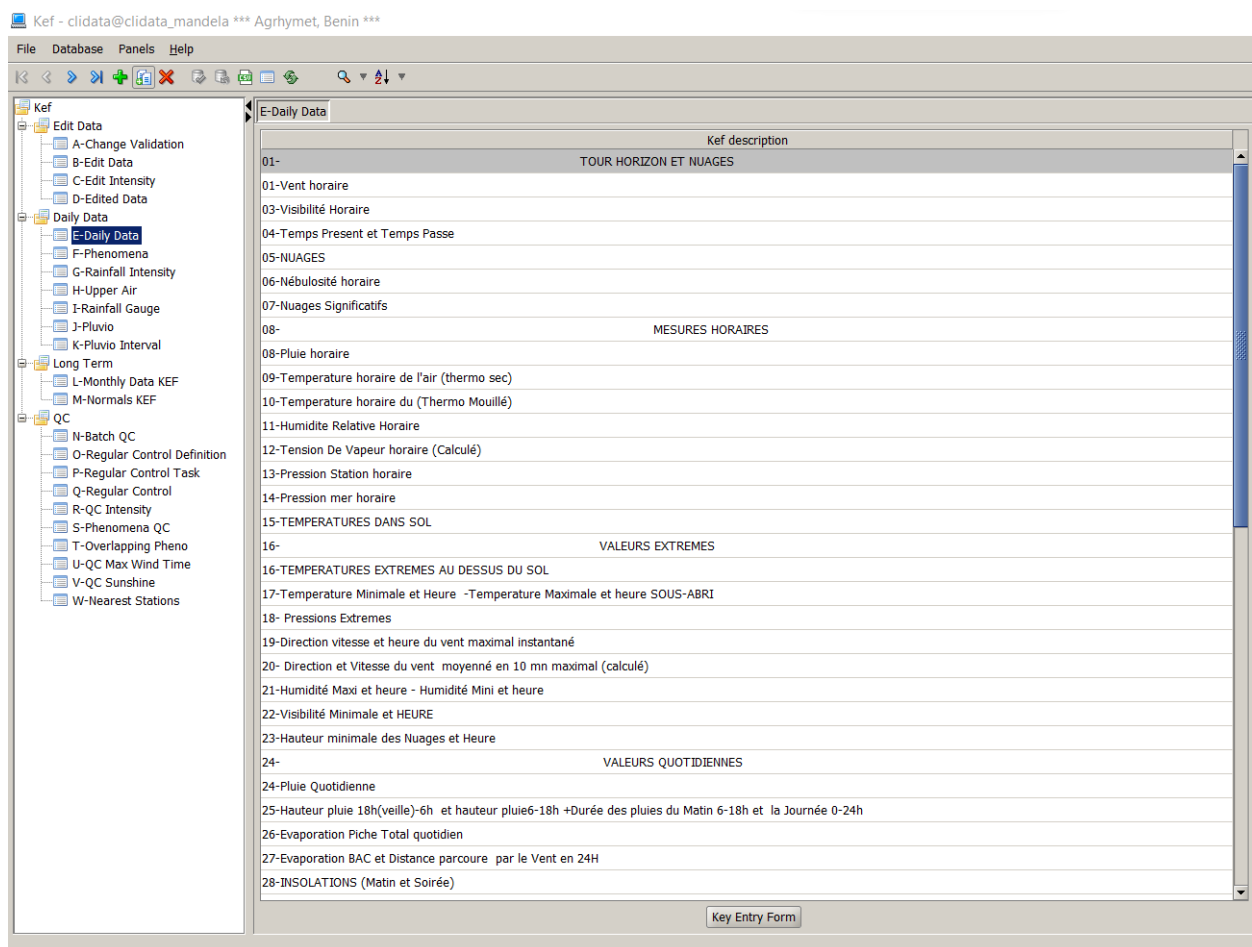


FIGURE 3 – Interface de saisie de la base de données

2.2.2 Activités réalisées au service de l'agrométéorologie

L'objectif principal du service de l'Agrométéorologie est de mettre à la disposition des producteurs, des planificateurs et des autorités chargées de prendre des décisions, des données et informations agrométéorologiques de bonne qualité afin de faire face aux problèmes qui se posent au niveau de la production agricole. Pour réaliser cet objectif ce bureau élabore à la fin de chaque décade des bulletins agrométéorologiques qui informent sur la situation pluviométrique, Évapotranspiration potentielle (ETP), le bilan hydrique climatique et bien d'autres paramètres climatiques. Les semaines passées dans ce service nous ont permis, de prendre connaissance des méthodes de travail et de la technique d'élaboration du bulletin agrométéorologique décadaire. Le processus d'élaboration du bulletin agrométéorologique se présente comme suit :

- la collecte et à la vérification des fiches pluviométriques et des messages agrométéorologiques synoptiques de la décade précédente. Ces informations proviennent du réseau météorologique d'observations. Une carte du réseau nous a été fourni par notre tuteur de stage et présenté à la figure 4. Les principaux paramètres collectés concernent les précipitations, les températures maximales et minimales, le vent maxi, la vitesse moyenne

- du vent, la durée d'insolation et l'évaporation ;
- la collecte des fiches de suivi phénologique des cultures provenant de diverses localités ;
- le remplissage de la fiche de réseau pluviométrique et leur enregistrement dans un template excel dédié pour le traitement ;
- le traitement des données pour générer l'ETP, le bilan hydrique et autres. L'ETP se calcule par la formule de Penmann-Monteith modélisée numériquement par le logiciel INSTAT+. Le bilan hydrique climatique se calcule par la formule : $C_i = P_i - ETP_i$ avec P_i , ETP_i et C_i respectivement la quantité de pluie, l'évapotranspiration potentielle et le bilan hydrique dans la localité i au cours de la décade. Le bilan hydrique permet d'apprécier la disponibilité en eau pour les cultures au cours de la décade et alerte ainsi sur les cas de stress hydrique ;
- la spatialisation des différents données traités à l'aide du logiciel SURFER. La carte spatialisée du bilan hydrique pour la troisième décade d'août que nous avons réalisée est présentée à la figure 5 ;
- et pour finir l'édition du bulletin.

Voilà décrit en quelques lignes le processus d'élaboration du bulletin agrométéorologique décadaire. Nous avons eu le privilège de participer à la réalisation du bulletin de la troisième décade d'août 2021.

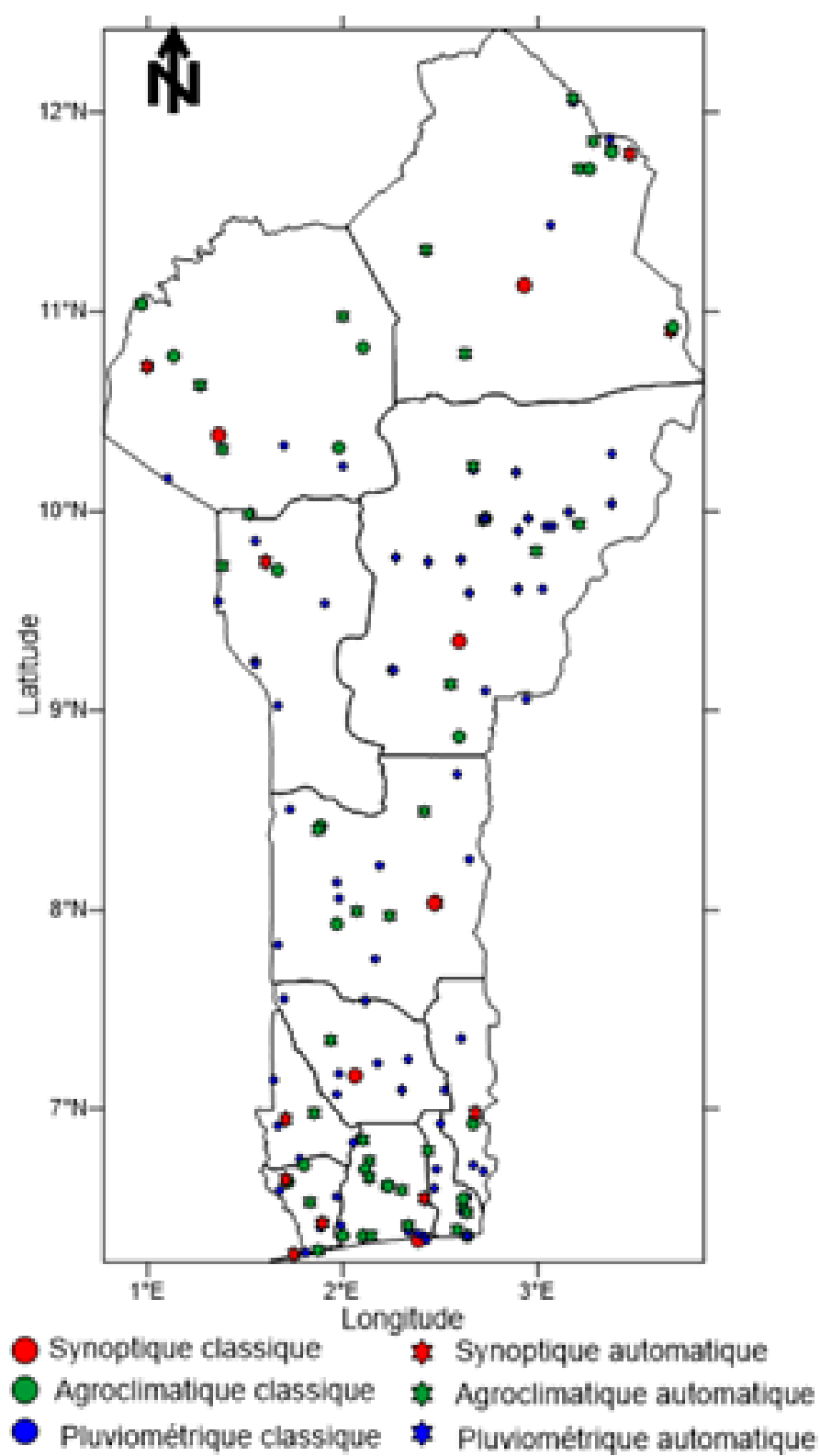


FIGURE 4 – Carte du réseau météorologique

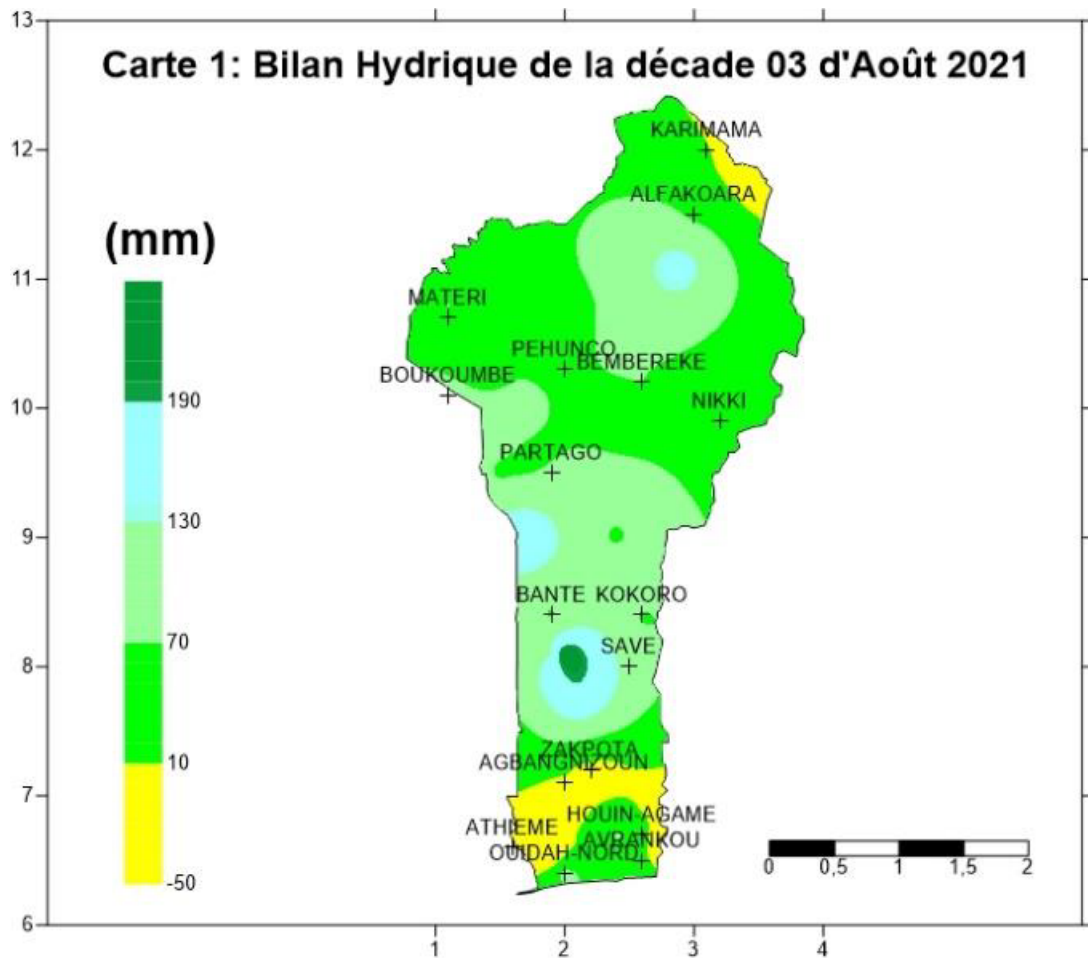


FIGURE 5 – Carte du bilan hydrique de la troisième décade d’août 2021

2.2.3 Activités réalisées à la cellule des études stratégiques

La cellule des études stratégiques est chargée principalement de :

- réaliser et publier des études sur des sujets relatifs au temps et au climat ;
- mener des études et des recherches sur les changements climatiques et leurs impacts ;
- suivre les coopérations scientifiques et techniques avec les différentes institutions et organismes nationaux, régionaux et internationaux ;
- effectuer des travaux de recherches sur la météorologie ;
- explorer d’autres domaines de la météorologie en vue d’élargir les activités de Météo-Bénin ;
- etc.

Au cours de notre passage à la cellule nous avons été initié et formé à différents outils et langage de programmation tels que : le langage R, le logiciel SURFER et QGIS. Avec le logiciel surfer, nous avons été formé à la spatialisation des données climatiques. Le logiciel R avec son environnement de programmation RSTUDIO ont été utilisés. Tous ces outils ont

permis de bien conduire l'étude sous la supervision des membres de la cellule des études stratégiques de METEO BENIN.

2.3 CHOIX DU SUJET

Compte tenu de ses attributions, la cellule des études stratégiques initie plusieurs études sur la variabilité et les changements climatiques et met les étudiants en fin de cycle à contribution pour la réalisation. C'est dans ce contexte que le thème **TENDANCES ACTUELLES DES TEMPÉRATURES ET DES PRÉCIPITATIONS DANS LE DÉPARTEMENT DE LA DONGA** nous a été assigné.

TROISIÈME PARTIE : ÉTUDE DU THÈME

TENDANCES ACTUELLES DES TEMPÉRATURES ET DES PRÉCIPITATIONS DANS LE DÉPARTEMENT DE LA DONGA

3.1 CONTEXTE ET JUSTIFICATION

Le changement climatique est défini selon les experts du groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), comme : « une variation de l'état du climat que l'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Il se rapporte à tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine » (GIEC, 2014). En effet, les gaz à effet de serre (GES) ont un rôle important dans le réchauffement de la terre. De nos jours l'alimentation en énergie provient essentiellement des combustibles fossiles. Leur combustion génère des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) qui retiennent l'énergie thermique. C'est ainsi que la terre se réchauffe et les phénomènes météorologiques extrêmes se produisent de plus en plus. Le CO₂ représentant près de 70% des émissions de GES est d'origine anthropique responsable du changement climatique. Ainsi, l'évolution du climat lors du 20^{ème} siècle, a montré un changement avec des tendances au réchauffement climatique (GIEC, 2007) plus élevé. Par exemple, L'étude réalisée par Hallouz *et al.* (2019) par l'application du test non-paramétrique de Kruskal-Wallis sur les indices de pluies a révélé que le total annuel des pluies et le nombre maximal de jours consécutifs pluvieux présentent une grande variabilité spatiale dans l'Oued Mina en Algérie. Sousa *et al.* (2011), en utilisant le test de Mann-Kendall modifié (Yue et Wang, 2004), ont révélé des tendances significatives indiquant des conditions plus sèches dans la plupart des régions méditerranéennes occidentale et centrale.

Au Bénin, plusieurs études ont été faites pour examiner la tendance des paramètres climatiques en occurrence les précipitations et les températures. En effet, L'analyse statistique, des données collectées sur la température de 1955 à 2010 faite par Nounangnonhoun *et al.* (2015), a permis de conclure que dans la zone du fleuve Ouémé on s'attend à une augmentation de la température de plus de 1,1°C en moyenne et à une accentuation des événements climatiques extrêmes d'ici 2040. A Kandi et à Bembèrèkè La pluviométrie et la température ont connu une grande variation DJOSSOU *et al.* (2020). Il en est de même pour Parakou et Savè où la température, la pluviométrie et le nombre de jour de pluie ont connu une variation interannuelle. L'étude de Gnanglè *et al.* (2011) a révélé une augmentation significative (+1°C) de la température ambiante, une diminution de la pluviométrie annuelle, du nombre moyen annuel de jours de pluie et de l'humidité relative moyenne. Toutefois, la même étude révèle une légère reprise des précipitations à partir de 1990 dans la zone soudanienne. Mal-

gré cette multitude d'études qui ont été réalisées au Bénin pour caractériser la tendance des paramètres climatiques, le thème reste encore d'actualité. En effet, la plupart des études n'ont pas pris en compte la dimension spatiale des tendances. De plus, peu d'études ont été réalisées dans la Donga. Par ailleurs l'évolution perpétuelle des activités humaines néfastes au climat nécessite de disposer d'études récentes pour la prise de décision. C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude intitulée : Tendances actuelles des températures et des précipitations dans le département de la Donga.

3.2 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'objectif global de cette étude est d'évaluer les tendances actuelles des températures et des précipitations dans la DONGA. De façon spécifique, il s'agira de :

- caractériser la variabilité des deux paramètres ;
- analyser l'évolution interannuelle et étudier les tendances des deux paramètres.

3.3 REVUE DE LITTÉRATURE

3.3.1 CLARIFICATION DES CONCEPTS

- Tendance : c'est un changement graduel dans les propriétés d'une variable aléatoire. Ces variations traduisent la variabilité intrinsèque des séries hydrologiques et climatiques.
- La variabilité climatique : est aussi une caractéristique inhérente au climat qui se manifeste par des changements et déviations dans le temps (([GIEC, 2014](#))). Elle est une modification naturelle du climat et donc indépendante des activités humaines. Le degré de variabilité climatique peut être décrit par les différences entre les valeurs moyennes à long terme des paramètres climatiques (pluie, température, humidité, durée des saisons) et des valeurs observées prises à différentes échelles temporelles et spatiales. Ainsi, la variabilité climatique ;
- Changement climatique : Pour [Houssou-Goe \(2008\)](#) les changements climatiques sont une modification du régime des précipitations et une augmentation prononcée des températures au cours du temps. De tels changements sont révélés par les indicateurs climatiques et socio-écologiques. La Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC, 1992), dans son article premier, définit les changements climatiques comme «des changements qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables»
- Estimation satellitaire : Dès l'avènement des observations satellitaires, bon nombre de chercheurs se sont attelés au développement d'algorithmes performants pour fournir

des estimations satellitaires de principales variables climatiques dont la pluie. Plusieurs estimations satellitaires existent à ce jour. On peut citer TAMSAT, CHIRPS, ARC... Ce sont des données pour la plupart spatiales. Leur principale limite la non représentativité des extrêmes de pluie.

- Réanalyse : La réanalyse atmosphérique est une méthode pour reconstruire le temps passé en combinant des observations historiques avec un modèle dynamique.

3.3.2 POINT DES TRAVAUX ANTÉRIEURES

Plusieurs travaux scientifiques ont porté sur la problématique de la tendance climatique actuelle dans le monde et au Bénin. On peut citer entre autres [DJOSSOU *et al.* \(2020\)](#) qui ont trouvé que les tendances des indices des extrêmes pluviométriques sont globalement non significatives. Toutefois, les résultats de ce travail nous révèlent que la République du Bénin est dans un contexte global de diminution des précipitations avec des tendances significatives à partir du Centre au Nord. [Emmanuel *et al.* \(2019\)](#) a montré d'après les analyses climatiques réalisées sur les précipitations journalières qu'on ne détecte pas de changements généralisés des indices de fréquences et d'intensité. Cette analyse a aussi révélé une absence presque totale de tendances statistiquement significatives pour toutes les variables étudiées R10, R20, SDII, PRCPTOT, etc. Ils ont remarqué que les précipitations totales annuelles dépendent des précipitations extrêmes observées durant la période de 1951- 2014 et que les inondations observées dans la zone d'étude résultent des fortes précipitations. Selon [Sounouke \(2020\)](#) l'insuffisance des pluies, la récurrence des fortes pluies, le démarrage tardif des pluies, la fin précoce des saisons des pluies, les séquences sèches longues, les vents violents, les jours et les nuits extrêmement chauds sont les risques climatiques auxquels les producteurs du département du Borgou sont confrontés. Dans son travail sur le sud du Bénin, [Bessou \(2018\)](#) a montré que le climat au sud du Bénin a été très variable au cours de la période 1952 – 2016. Une variabilité caractérisée par des périodes humides et sèches, froides et chaudes et une hausse de température de 1,5 °C dans la zone. L'étude de ([Gnanglè *et al.*, 2011](#)) a révélé une augmentation significative (+1°C) de la température ambiante, une diminution de la pluviométrie annuelle, du nombre moyen annuel de jours de pluie et de l'humidité relative moyenne.

En résumé l'ensemble des études convergent vers une augmentation des températures, une baisse non significative des précipitations avec une variabilité interannuelle accrue.

3.4 MATERIEL ET METHODES

3.4.1 MATERIEL

— ZONE D'ETUDE

Le département de la Donga (Figure 6) qui fait l'objet de notre étude est l'un des douze

départements de la République du Bénin. Il est limité au Nord par le département de l'Atakora, au Sud par le département des Collines, à l'Est par le département du Borgou et à l'Ouest par la République du Togo. Il s'étend sur une superficie de 11126 km^2 (INSAE, 2016). Il est subdivisé en quatre (04) communes à savoir : Djougou (Chef-lieu du département), Bassillac, Camargo et Ouaké. Le relief du département de la Donga est constitué des chaînons des Tanékas (654m) et surtout de plaines mollement ondulées de 150m à 200 m d'altitude. Les sols sont de type minéral bruts, ferrugineux tropicaux indurés et hydromorphes ([Azontondé, 1991](#)). Ces sols ont besoin d'importants apports en matière organique pour la reconstruction de la couche humifère sur les parcelles mises en culture. La végétation est dense le long des cours d'eau et constitue ainsi des forêts galeries. La population du département de la Donga s'élève à 543 130 habitants selon le quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH4)

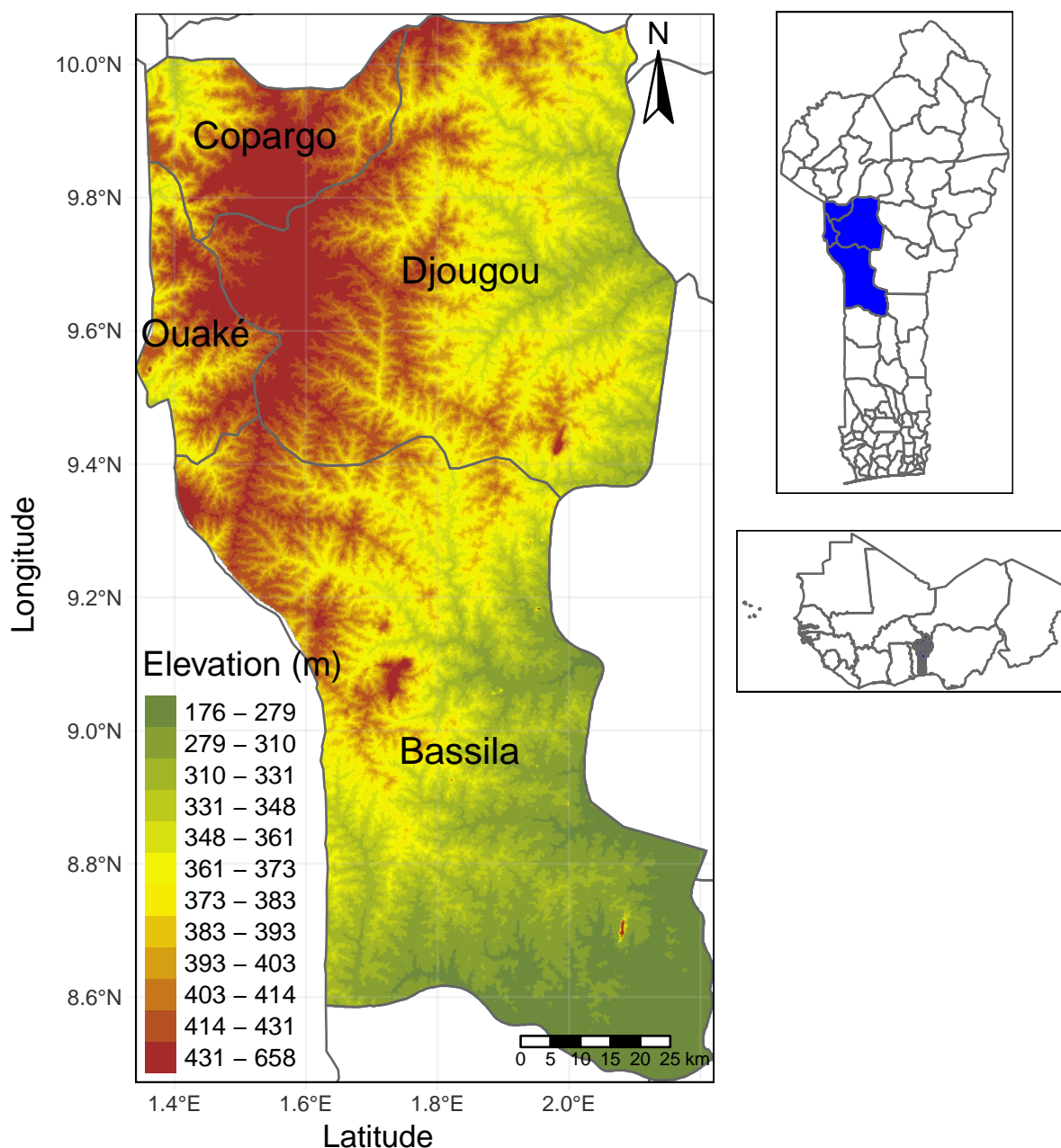


FIGURE 6 – Carte topographique de la zone d'étude.

Le climat est du type soudanien, caractérisé par une saison sèche qui couvre la période de mi-octobre à mi-avril et une saison pluvieuse entre mi-avril et mi-octobre normale des précipitations se situe entre 1200 mm et 1300mm avec le mois d'Août comme le mois le plus pluvieux. C'est dans ce département que le fleuve Ouémé prend sa source (Tanéka-Koko) et coule vers l'océan Atlantique.

— **DONNEES**

Les données d'estimation satellitaire de pluie Tropical Applications of Meteorology using SATellite data and ground-based observations (TAMSAT) de résolution 4km, corrigées de biais nous ont été fournies par la CES. Pour les températures les données de

réanalyses ECMWF Reanalysis V5 (ERA5), corrigées de biais et interpolées à la même résolution que les données de pluie ont été utilisées.

— OUTILS

Le logiciel R a été utilisé pour la conduite de l'étude et l'éditeur \LaTeX pour la rédaction de ce document.

3.4.2 METHODES

— Variabilité des séries de précipitations et de températures

L'indice de [Lamb \(1983\)](#) a été utilisé pour caractériser la variabilité pluviométrique. Sa formule se présente comme suit :

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (1)$$

Avec : I_i = l'indice de Lamb ; x_i = la pluviométrie ou la température moyenne de l'année i ; \bar{x} = moyenne des hauteurs annuelles de pluie ou la température moyenne annuelle sur la période 1984 – 2010 et σ l'écart-type des séries de hauteurs annuelles de pluie ou de la température moyenne annuelle sur la période 1984 – 2010. L'indice I_i exprime les anomalies notamment en termes d'années sèches ou d'années humides pour les précipitations et d'années chaudes ou froides pour les températures (OMM, 2012). Une année est chaude/sèche si l'indice de Lamb est supérieur à 0.5/inférieur à -1 et une année est froide/humide si l'indice de Lamb est inférieur à -0.5/ supérieur à 1.

Il faut noter que l'analyse de la variabilité a été réalisée sur la moyenne spatiale des paramètres sur la zone d'étude.

— Tendances des températures et des précipitations

Pour apprécier la tendance des différentes variables le test de Man-Kendall a été utilisé. Ce test non paramétrique permet de caractériser une tendance dans une série. Il a pour but de mesurer le degré de significativité de la tendance observée dans une série. Son hypothèse nulle (H_0) est qu'il n'y a pas de tendance. La tendance est dite significative d'un point de vue statistique lorsque la p-value du test est inférieure à 5%. La force de la tendance est estimée en utilisant le coefficient directeur (la pente) de la droite de régression linéaire. En outre le test de rupture de Pettitt qui dérive du test de Mann-Kendall a permis de mettre en évidence les années de rupture dans la série des deux paramètres. L'hypothèse nulle H_0 de non-rupture considère qu'il n'y a pas de rupture. Le test de Pettitt a été utilisé au seuil de significativité $\alpha = 5\%$ avec le package trend de R.

— Changements Observés

Cette méthode est utilisée pour évaluer les écarts des paramètres entre les périodes avant

rupture et après rupture. Pour les températures par exemple elle est formulée comme suit :

$$Ecart = T_2 - T_1 \quad (2)$$

Avec T_2 la température moyenne après rupture, révélée par le test de Pettitt et T_1 la température moyenne avant rupture, révélée par le test de Pettitt

3.5 RESULTATS

3.5.1 Variabilité des températures et des précipitations

De l'analyse de la variabilité des températures moyennes (Figure 7), il ressort deux grandes périodes homogènes :

- la période de 1984 à 1996 froides où les températures ont été globalement en deçà de la moyenne ;
- et la période de 1997 à 2019 chaudes où les températures ont été au dessus de la moyenne. Toutefois, il est noté une persistance d'une situation froide de 2006 à 2013.

Pour ce qui concerne les précipitations (Figure 13), il est noté une alternance d'année sèche et humide sur toute la période.

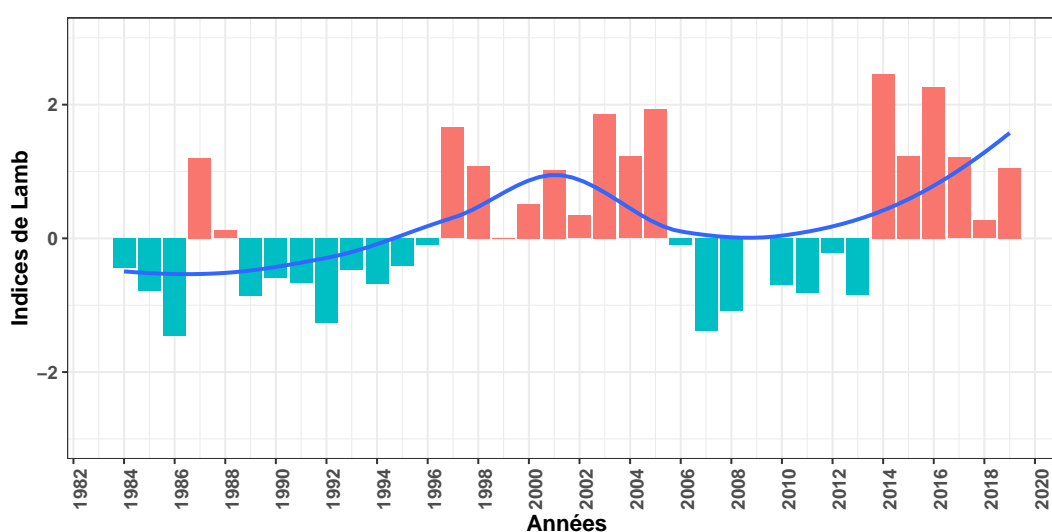


FIGURE 7 – Variabilité des températures moyennes dans le département de la Donga. Période :1984-2019. La courbe bleue est une courbe de tendance polynomiale qui à l'instar des moyennes mobiles permet de scinder les périodes homogènes en termes de variabilité.

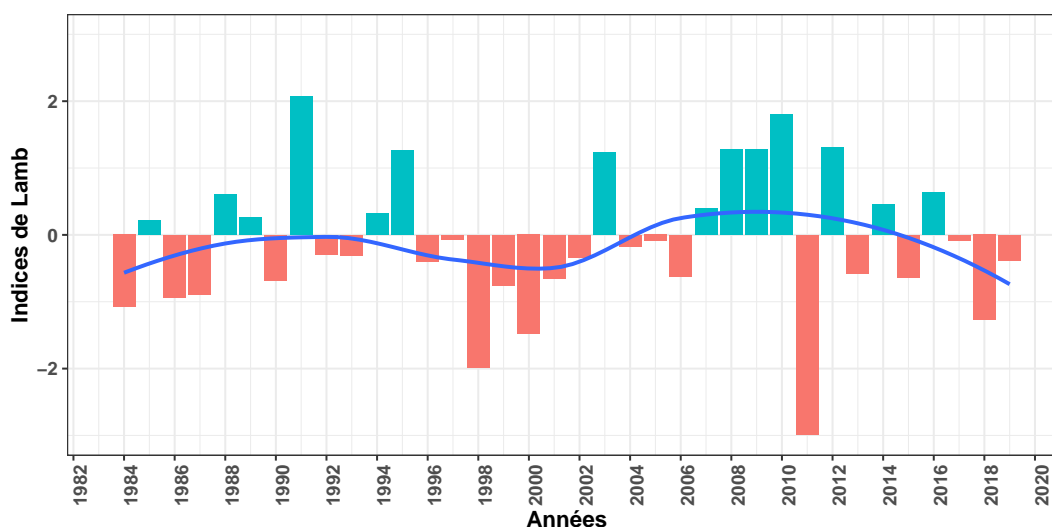


FIGURE 8 – Variabilité des précipitations annuelles dans le département de la Donga. Période : 1984-2019. La courbe bleue est une courbe de tendance polynomiale qui à l’instar des moyennes mobiles permet de scinder les périodes homogènes en termes de variabilité.

3.5.2 Tendances des températures et des précipitations

— Analyse temporelle de la moyenne spatiale à l’échelle du département

L’évolution des températures moyennes sur la période d’étude révèle une tendance significative à la hausse au test de Mann Kendall (Figure 9 Tableau 1). Au test de Pettitt, une rupture a été détectée en 1996 (Figure 9, Tableau 1). En comparant les moyennes des sous-séries avant et après rupture, il en ressort une augmentation de 0,5°C. La pente de la droite de régression indique une augmentation de 0.2°C tous les dix années. Au test de Mann Kendall, la tendance à la hausse de la série des précipitations annuelles (Figure 10) n’est pas significative (seuil de 5%). Il en est de même pour le test de Pettitt qui a affiché l’année 2002 comme année de rupture sans être significatif.

TABEAU 1 – Résultat des tests de Pettitt et de Mann-Kendall pour les séries annuelles de pluie et de température. Période : 1984-2019

| | Test de Pettitt | | Test de Mann-Kendall | | |
|--------------------------|------------------|--------|----------------------|-------|--------|
| | Année de rupture | Pvalue | Tau | pente | Pvalue |
| Températures moyennes | 1996 | 0,04 | 0,3 | 0,02 | 0,007 |
| Précipitations annuelles | 1999 | 0,65 | 0,1 | 0,8 | 0,37 |

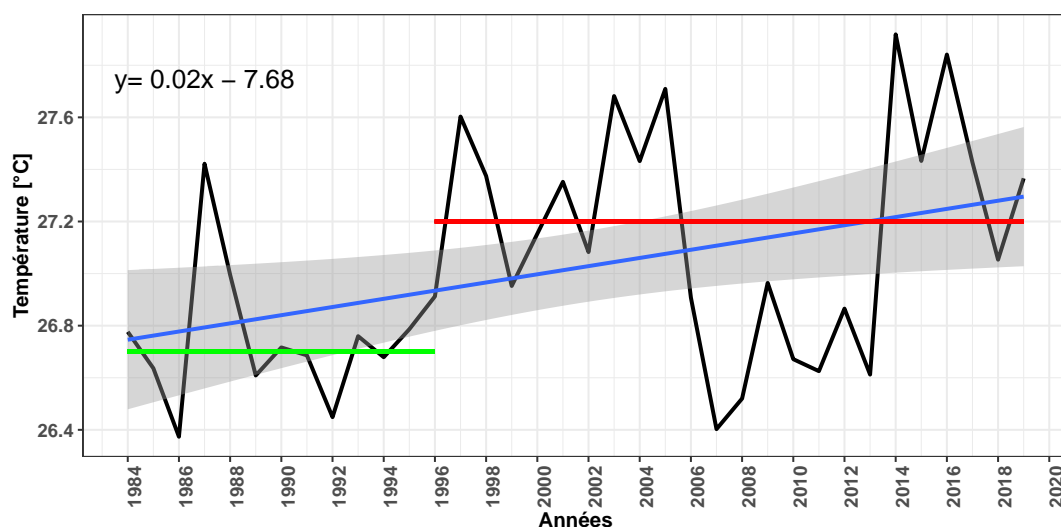


FIGURE 9 – Tendances des températures moyennes dans le département de la Donga. Période :1984-2019. Ligne bleue : Droite de regression. Segment vert : moyenne avant rupture. Segment rouge : moyenne après rupture.

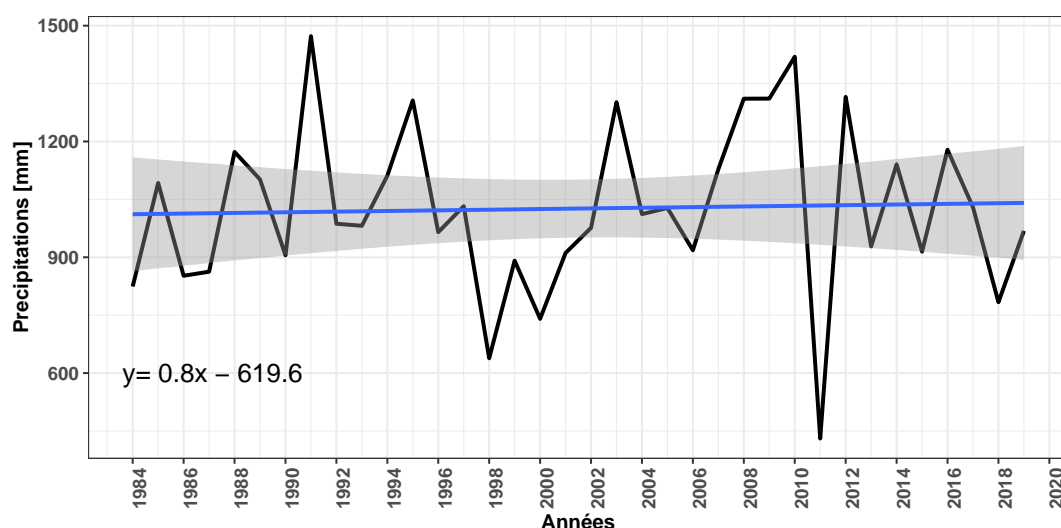


FIGURE 10 – Tendances des précipitations annuelles dans le département de la Donga. Période :1984-2019. Ligne bleue : Droite de regression.

— Analyse spatio-temporelle

Les températures moyennes annuelles (période 1984-2019) varient spatialement en suivant le gradient Sud-Ouest/Nord-Est. Les températures les plus faibles (environ 26.5°C) sont observées au Sud-Ouest et à l'Ouest dans la commune de Bassila et Ouaké, et les plus observées dans la commune de Djougou (Figure 11). Les précipitations moyennes annuelles varient entre 950 et 1250 mm. Les hauteurs les plus élevées s'observent à l'Ouest du département le long des chaînons des Tanekas.

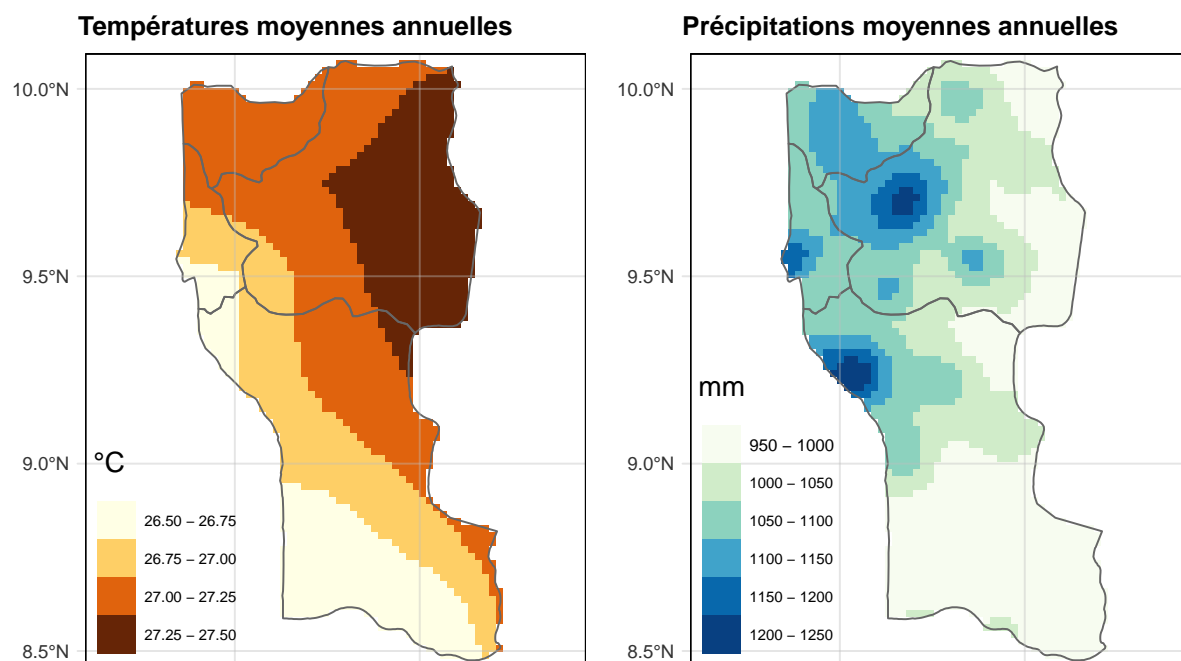


FIGURE 11 – Moyenne des températures et des hauteurs de pluie annuelle sur la période 1984-2019 dans le département de la Donga.

L'analyse spatio-temporelle des tendances révèle des tendances à la hausse sur l'ensemble du département pour les températures. Elles ne sont significatives que sur les régions situées au nord du département (Djougou, Ouaké, Copargo et une partie de Bassila). Pour ce qui concerne les précipitations deux situations s'observent :

- des tendances à la hausse au nord du département qui sont significatives que dans quelques localités ;
- et des tendances à la baisse au sud de la commune de Bassila qui sont significatives à l'extrême sud de cette commune.

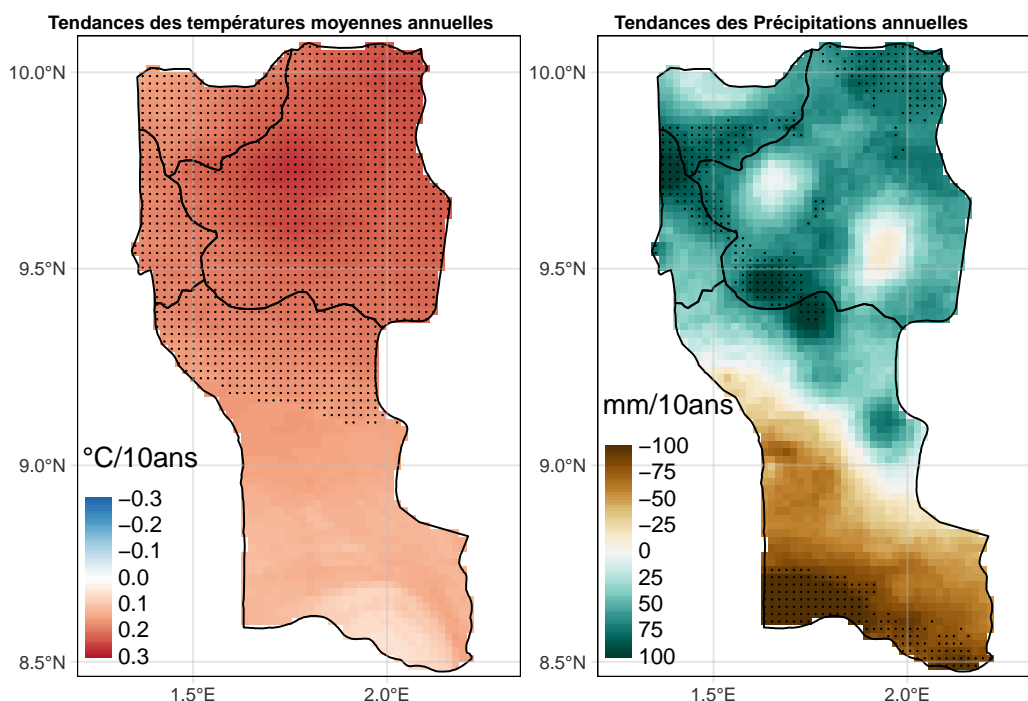


FIGURE 12 – Tendances des températures moyennes et des précipitations annuelles dans le département de la Donga (Période 1984-2019). Les points (•) indiquent les zones de tendances significatives.

3.5.3 Changements Observés

Après l'année 1996, il est noté une hausse des températures moyennes sur la grande partie du département. Cette hausse dépasse 0.6°C dans la commune de Djougou. Pour ce qui concerne les précipitations annuelles, une hausse entre 50 et 250 mm s'observe dans les localités du nord. Cependant, les régions du sud de la commune de Bassila ont connu une Baisse des précipitations annuelles atteignant les 200 mm après l'année de rupture.

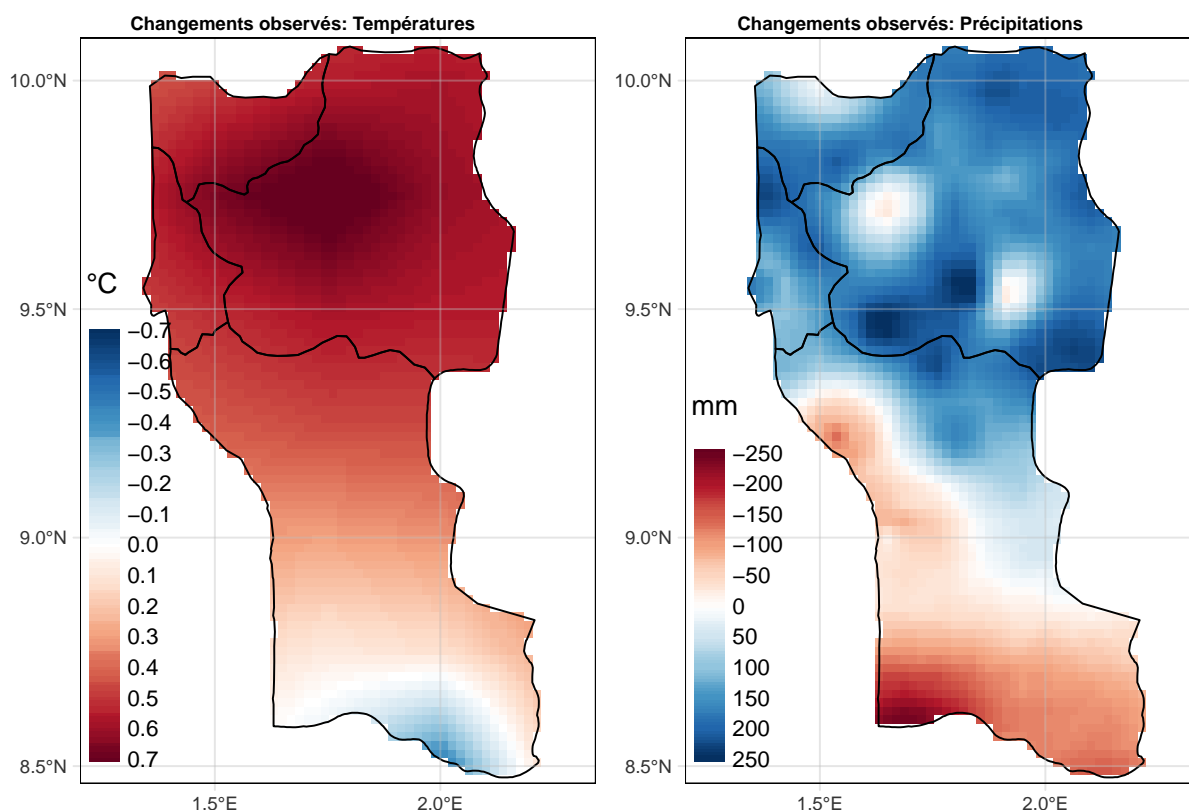


FIGURE 13 – Variabilité des précipitations moyennes annuelles dans le département de la Donga. Période :1984-2019

3.6 COMMENTAIRES

La moyenne spatiale des données de précipitations utilisées a présenté une tendance à la hausse non significative. Tandis que pour l'analyse spatio-temporelle, des tendances significatives sont révélées dans certaines localités du département. Cette analyse montre la pertinence de l'utilisation des données à caractère spatial dans la caractérisation des tendances. [Sounouke \(2020\)](#) dans son étude sur les risques climatiques et stratégies d'adaptation des producteurs de maïs face au changement climatique dans le Borgou a aussi montré l'intérêt de ces données. Les tendances à la hausse des pluies observées dans la grande partie du département ne sont pas dans le même sens que les résultats de [Gnanglè et al. \(2011\)](#) qui a travaillé sur l'ensemble du Bénin et a trouvé une baisse de 5,5mm/an sur l'ensemble du Bénin. Toutefois, il faut signaler l'utilisation de données ponctuelles par cette dernière étude. Par ailleurs, la tendance à la hausse des précipitations pourrait être liée à la fréquence des fortes pluies. Le [GIEC \(2014\)](#) l'a aussi signalé dans son rapport. C'est pourquoi il serait important d'étudier les extrêmes de ces deux paramètres climatiques.

[Gnanglè et al. \(2011\)](#) ont trouvé des résultats similaires par rapport à la tendance des températures. En effet, ces auteurs ont obtenu dans leur étude intitulée Tendances climatiques passées, modélisation, perceptions et adaptations locales au Bénin que la température moyenne à l'échelle nationale a augmenté de 1°C. Malgré que cela ne soit sur notre région d'étude,

des tendances similaires ont été observées dans les travaux de [Djohy et al. \(2015\)](#), [Bessou \(2018\)](#) et [Sounouke \(2020\)](#).

3.7 CONCLUSION PARTIELLE

L'objectif de cette étude était d'étudier les tendances actuelles des températures et des précipitations dans le département de la Donga, au Bénin pour la prise de décision. Pour ce faire, des tests de tendance de Mann-Kendall et de rupture de Pettitt ont été appliqués sur les données climatiques à l'aide du logiciel R.

Au terme des analyses, il ressort que, les températures moyennes sont à la hausse dans le département de la Donga. Les précipitations sont à la baisse au sud du département et à la hausse au nord.

La principale limite pour ce travail est de n'avoir pas pris en compte l'analyse des extrêmes de température et de précipitation.

En termes de perspectives, nous projetons d'étudier les extrêmes des températures et des précipitations dans la zone pour vérifier si la hausse des précipitations et des températures dans le nord du département est liée à la fréquence des extrêmes.

DIFFICULTES RENCONTREES

La principale difficulté est liée à la mobilité des encadrateurs.

CONCLUSION

Le but visé par ce stage académique est de nous familiariser avec un lieu de travail, de prendre connaissance des méthodes de travail dans chaque entité visitée et de mettre en pratique les connaissances théoriques acquises au cours de notre formation. Au terme de ce stage nous dirons humblement que ces objectifs sont atteints. En effet, nous avons participé à l'élaboration des bulletins climatiques mensuels, des bulletins décennaires agrométéorologiques et à la saisie des données climatiques. Nous avons aussi appris des outils tels que SURFER, QGIS, R et Latex. Ces outils nous ont permis de développer le thème qui nous a été attribué dont l'objectif est d'étudier les tendances actuelles des températures et des précipitations dans le département de la Donga, au Bénin pour la prise de décision. Au terme des analyses, il ressort que, les températures moyennes sont à la hausse dans le département de la Donga. Les précipitations sont à la baisse au sud du département et à la hausse au nord.

Ce stage a été pour nous un véritable moment d'apprentissage et de renforcement de nos connaissances acquises.

SUGGESTIONS

Au terme de ce stage et vu les difficultés que nous avons eu à apprendre les outils utilisés dans ce document, nous suggérons que l'EPAC insère des modules sur la programmation informatique en l'occurrence le langage R ou python pour le secteur biologique et l'élaboration de modèles \LaTeX pour la rédaction des mémoires.

Bibliographie

- AZONTONDÉ, H. A. (1991). Propriétés physiques et hydrauliques des sols au Bénin. *In Soil Water Balance in the SudanoSahelian Zone*, numéro 199, pages 217–227, Niamey. IAHS.
- BESSOU, J. (2018). Caractérisation de la variabilité et détection des effets de changement climatique au sud du Bénin. Rapport de stage, Centre Régional AGRHYMET, 40p.
- DJOHY, G. L., EDJA, A. H. et NOUATIN, G. S. (2015). Variation climatique et production vivrière : la culture du maïs dans le système agricole péri-urbain de la commune de Parakou au nord-Bénin. *Afrique Science*, 11(6):183–194.
- DJOSSOU, M. L. D., KODJA, D. et VISSIN, E. (2020). Analyse de la variabilité des extrêmes climatiques dans le bassin versant de la Pendjari à l'exutoire de Porga au Bénin. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 22(2):176–182.
- EMMANUEL, L. A., HOUNGUÈ, N. R., BIAOU, C. A. et BADOU, D. F. (2019). Statistical analysis of recent and future rainfall and temperature variability in the Mono river watershed (Benin, Togo). *Climate*, 7(1):8.
- GIEC (2014). *Climate change : the physical science basis : Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, UK, 222 p.
- GNANGLÈ, C. P., KAKAÏ, R. G., ASSOGBADJO, A. E., VODOUNNON, S., YABI, J. A. et SOKPON, N. (2011). Tendances climatiques passées, modélisation, perceptions et adaptations locales au Bénin. *Climatologie*, 8:27–40.
- HALLOUZ, F., MEDDI, M., MAHE, G., KARAHACANE, H. et ALI RAHMANI, S. (2019). Tendance des précipitations et évolution des écoulements dans un cadre de changement climatique : bassin versant de l'oued Mina en Algérie. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 32(2):83–114.
- HOUSSOU-GOE, S. S. P. (2008). *Agriculture et changement climatique au Bénin : risques climatiques, vulnérabilité et stratégies d'adaptation des populations rurales du département du Couffo*. Thèse de doctorat, Département d'Économie, Socio-Anthropologie et Communication pour le ...
- LAMB, P. J. (1983). Sub-saharan rainfall update for 1982; continued drought. *Journal of climatology*, 3(4):419–422.
- NOUNANGNONHOUN, A., OUMOROU, M., HOUNZINME, S., TEKA, O. et HENNOU, L. (2015). Variabilité climatique et production agricole dans la commune de Kandi (nord-Bénin) : cas du maïs, arachide, sorgho et niébé. Rapport technique, EPAC/UAC.

- SOUNOUE, H. V. (2020). Risques climatiques et stratégies d'adaptation des producteurs de maïs face au changement climatique dans la zone soudanienne du Bénin : cas du département du Borgou. Mémoire de D.E.A., Centre Régional AGRHYMET : NIAMEY, 75p.
- SOUSA, P. M., TRIGO, R. M., AIZPURUA, P., NIETO, R., GIMENO, L. et GARCIA-HERRERA, R. (2011). Trends and extremes of drought indices throughout the 20th century in the Mediterranean. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(1):33–51.
- YUE, S. et WANG, C. (2004). The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water Resources Management*, 18(3):201–218.

Table des matières

| | |
|--|------|
| Liste des enseignants ayant intervenu en Génie de l'environnement au cours de ma formation de 2018 à 2021 | i |
| Dédicace | ii |
| Remerciements | iii |
| Liste des sigles et Abréviations | iv |
| Résumé | v |
| Abstract | vi |
| Liste des figures | vii |
| Liste des tableaux | viii |
| INTRODUCTION | 1 |
| PREMIÈRE PARTIE : PRÉSENTATION DU CADRE DE STAGE | 2 |
| 1.2 CADRE INSTITUTIONNEL | 2 |
| 1.3 CADRE DE STAGE | 2 |
| 1.3.1 HISTORIQUE, MISSIONS ET ORGANISATION DE METEO BE- NIN | 2 |
| DEUXIÈME PARTIE : DÉROULEMENT DU STAGE | 4 |
| 2.1 OBJECTIFS DU STAGE | 4 |
| 2.2 DEROULEMENT DU STAGE | 4 |
| 2.2.1 Activités réalisées au service Climatologie, Changements clima- tiques et suivi des conventions | 4 |
| 2.2.2 Activités réalisées au service de l'agrométéorologie | 7 |
| 2.2.3 Activités réalisées à la cellule des études stratégiques | 10 |
| 2.3 CHOIX DU SUJET | 11 |
| TROISIÈME PARTIE : ÉTUDE DU THÈME | 12 |
| 3.1 CONTEXTE ET JUSTIFICATION | 12 |
| 3.2 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE | 13 |
| 3.3 REVUE DE LITTÉRATURE | 13 |
| 3.3.1 CLARIFICATION DES CONCEPTS | 13 |
| 3.3.2 POINT DES TRAVAUX ANTÉRIEURES | 14 |
| 3.4 MATERIEL ET METHODES | 14 |

| | | |
|-------|---|-----------|
| 3.4.1 | MATERIEL | 14 |
| 3.4.2 | METHODES | 17 |
| 3.5 | RESULTATS | 18 |
| 3.5.1 | Variabilité des températures et des précipitations | 18 |
| 3.5.2 | Tendances des températures et des précipitations | 19 |
| 3.5.3 | Changements Observés | 22 |
| 3.6 | COMMENTAIRES | 23 |
| 3.7 | CONCLUSION PARTIELLE | 24 |
| | DIFFICULTES RENCONTREES | 24 |
| | CONCLUSION | 24 |
| | SUGGESTIONS | 25 |
| | Bibliographie | 26 |
| | Table des matières | 28 |
| | Annexes | I |
| A | Questionnaire du chef service climatologie et changements climatiques . . . | I |

Annexes

A Questionnaire du chef service climatologie et changements climatiques

- Définir les thèmes suivants : climat; variabilité climatique; changement climatique; risque prévision; modèle climatique; adaptation; microclimat; vulnérabilité; risques climatiques écosystème.
- quels sont les risques climatiques que vous connaissez au Benin ?
- comment appréciez-vous le comportement de ces risques ?
- qu'entendez-vous par des gestions des catastrophes ?
- définir ce qu'est déboisement et quel est son impact sur l'environnement ?
- Existe-t-il une convention dans le domaine de changement climatique ? si oui quelle est son appellation et sa date de mise en œuvre ?
- quelles sont les mesures d'adaptation des changements climatiques au Benin ?
- existe-t-il une sécurité alimentaire au Benin ?
- faites un bref résumé sur la perception des changements climatiques.
- Etablir la méthode qui permet de calculer les normales climatiques.